

## METHOD AND DEVICE FOR MESHING

Patent Number: JP1311373  
Publication date: 1989-12-15  
Inventor(s): TAKAHASHI HIROAKI  
Applicant(s): HITACHI LTD  
Requested Patent: ☐ JP1311373  
Application Number: JP19880142269 19880609  
Priority Number(s):  
IPC Classification: G06F15/60  
EC Classification:  
Equivalents: JP2657301B2

### Abstract

**PURPOSE:** To set up a mapping model whose shape is furthermore appropriate by making a shape model whose constitutional face is properly divided approximate with a shape obtained by integrating rectangular parallelopipeds whose one side is integer times the unit cube and forming gratings on the shape.  
**CONSTITUTION:** A shape model is divided into plural section faces 1-9, the segments X', Z' of a corresponding reference rectangular face 1' are determined on the basis of the length of each segment constituting the section face 1 as a reference face, the reference rectangular face 1' corresponding to the reference face 1 is constituted in a mapping space, and said operation is repeated to constitute mapping models 1'-9'. Then, respective segments forming the ridgelines of the models 1'-9' are corrected so as to be integer times the length of one side of the unit cube of the gratings to form gratings on the surfaces and insides of the gratings. Against grating points on the ridgelines of the mapping models 1'-9' whose surfaces are rectangular faces, grating points are generated on the ridgeline of the shape model, the grating points are guided to the surfaces and insides of the shape models by a curve coordinate converting method on the basis of the generated grating points to form gratings on respective shape models.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

HEI1-311373

[CLAIMS]

[Claim 1] A meshing method relating to mesh-division for performing an analysis through the finite-element method, comprising:

approximating a shape model to a shape assembled from rectangular bodies each having a side the length of which is an integral multiple of the length of a side of a unit cube; and

forming a lattice on the shape model on the basis of a mapping model made by forming a lattice on the shape.

[Claim 2] A meshing device comprising a shape model generating section for generating a shape model targeted for an analysis performed by a finite-element method, a mapping model generating section for defining a mapping model corresponding to said shape model and forming a lattice on said mapping model, and a mesh generating section for generating lattice points on the edge lines or boundary lines of said shape model corresponding to the lattice points on the edge lines or boundary lines of said mapping model, deriving lattice points on the surface and inside of said shape model by a curvilinear coordinate conversion method on the basis of said lattice points, and forming a lattice from the lattice points, wherein said mapping

model generating section comprises means for correcting the length of each of the edge lines of a mapping model to an integral multiple of the length of a side of the unit cubic of the lattice, and means for forming lattices on the surface and inside of the mapping model on the basis of an unit cubic obtained after the correction.

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

平1-311373

⑤ Int. Cl.<sup>4</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 平成1年(1989)12月15日

G 06 F 15/60

4 5 0

8125-5B

審査請求 未請求 請求項の数 2 (全8頁)

⑭ 発明の名称 メッシング方法および装置

⑰ 特 願 昭63-142269

⑱ 出 願 昭63(1988)6月9日

⑲ 発 明 者 高 橋 宏 明 茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所機械研究所内

⑳ 出 願 人 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

㉑ 代 理 人 弁理士 鶴沼 辰之

明 細 書

1. 発明の名称

メッシング方法および装置

2. 特許請求の範囲

1. 有限要素法による解析を行うためのメッシュ分割に関して、構成面を適宜分割した形状モデルを、一辺が単位立方体の整数倍となる直方体を集合させた形状で近似し、この形状に格子を形成した写像モデルを基に形状モデルに格子を形成するメッシング方法。

2. 有限要素法による解析の対象となる形状モデルを生成する形状モデル生成部と、前記形状モデルに対応した写像モデルを設定し、該写像モデルに格子を形成する写像モデル生成部と、前記写像モデルの稜線又は境界線上の格子点に対応して形状モデルの稜線又は境界線上に格子点を発生させ、該格子点を基にして曲線座標変換法により形状モデルの表面及び内部に格子点を導出し、この格子点から格子を形成するメッシュ生成部と、を具備するメッシング装置におい

て、前記写像モデル生成部は写像モデルの稜線を格子の単位立方体の一辺の長さの整数倍に修正する手段と、修正後の単位立方体を基に写像モデルの表面及び内部に格子を形成する手段とを有することを特徴とするメッシング装置。

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は、有限要素法による解析の対象となる形状モデルを格子点によってメッシュ分割する方法および装置に係り、特にこの形状モデルに適合する写像モデルを構築する方法および装置に関する。

(従来の技術)

従来、構造物等の強度計算等には有限要素法による解析の手法が使われている。この解析の大部分を自動的にこなす装置の完備が望まれている。この自動解析装置には、少なくとも形状モデル生成部、写像モデル生成部、およびメッシュ生成部などの構成手段が含まれる。形状モデル生成部は、有限要素法による解析の対象となる3次元の形状

モデルを生成しディスプレイに表示する。この形状モデルは、有限要素法による解析手法が適用されるように、表面及び内部に格子点が設けられなければならない。この格子は計算精度を高めるために、できるだけ歪みが小さく立方体に近い方がよい。

写像モデル生成部は、形状モデルを単一の直方体で適合させ、この立方体に格子点を形成して写像モデルを設定する。

メッシュ生成部は、この写像モデルの稜線上の格子点に対応して形状モデルの稜線上に格子点を発生させる。前記発生した格子点をつないで形状モデルの表面及び内部にも格子点を導出する。このための手法として、曲線座標変換法が用いられる。

この曲線座標変換法の概念を第11図(a)～(e)に示す。これらの図は実際には3次元のものを2次元のものとして表現している。

すなわち、有限要素法による解析の対象となる形状モデルが与えられ(第11図a)、この形状

モデルに適合した写像モデルを設定する(第11図b)。この写像モデルは通常立方体(図には正方形で示す)からなる格子を有する。そして写像モデルの境界線(3次元モデルでは稜線)上の格子点に対応して、形状モデルの境界線上に格子点を発生させる(第11図c)。発生させた格子点をつないでメッシュ分割をする。このとき使用される曲線座標変換法は、各格子点を結ぶ線をバネ体と考え、写像モデルの境界線上にある格子点を強制的に形状モデルの境界線上に固定し(第11図d)、前記バネ体がつり合うようにして内部の格子点の位置が定まる(第11図e)。

なお曲線座標変換法を用いたメッシュ分割に関する文献としては、JOEF、THOMPSON AND ZAHIR U. A. WARS I ; "Boundary-Fitted Coordinate Systems for Numerical Solution of Partial Differential Equations" ; JOURNAL OF COMPUTATIONAL PHYSICS 47, 1-108 (1982) が挙げられる。

#### 〔発明が解決しようとする問題点〕

以上のような曲線座標変換法を使った自動メッシュ分割装置においては、写像モデルとして直方体が設定できるのみであった。このため直方体の形状から大きく離れた形状や穴が穿設された形状モデルに対しては、形状モデルの有する各面を写像モデルである直方体の6つの面のいずれかに強制的に割り当てることになり、無理な割り当てになってしまう。そのため、形成された形状モデルのメッシュ形状が立方体から大きく異なってしまって大きな歪みが生じるものであった(第12図参照)。また穴が穿設された形状モデル(第10図左図参照)に対しては単一の写像モデルを設定することができなかった。

この発明の目的は、形状が直方体から大きく離れたり、穴が穿設された形状モデルに対して、メッシュ形状に大きな歪みの生じない写像モデルを設定することができるメッシング方法および装置を提供することである。

〔問題点を解決するための手段〕

この発明は、有限要素法による解析を行うためのメッシュ分割に関して、構成面を適宜分割した形状モデルを、一辺が単位立方体の整数倍となる直方体を集合させた形状で近似し、この形状に格子を形成した写像モデルを基に形状モデルに格子を形成するものである。

また他の発明は、有限要素法による解析の対象となる形状モデルを生成する形状モデル生成部と、前記形状モデルに対応した写像モデルを設定し、該写像モデルに格子を形成する写像モデル生成部と、前記写像モデルの稜線又は境界線上の格子点に対応して形状モデルの稜線又は境界線上に格子点を発生させ、該格子点を基にして曲線座標変換法により形状モデルの表面及び内部に格子点を導出し、この格子点から格子を形成するメッシュ生成部と、を具備するメッシング装置において、前記写像モデル生成部は写像モデルの稜線を格子の単位立方体の一辺の長さの整数倍に修正する手段と、修正後の単位立方体を基に写像モデルの表面及び内部に格子を形成する手段とを具備するもの

である。

〔作用〕

写像モデルは、従来のように、単に直方体とするものではなく、形状モデルに対し形状がより適合しているため、表面が多数の矩形面からなる写像モデルを設定することができる。

以上の作用を第9図及び第10図において説明する。これらの図は3次元モデルを2次元モデルに置き換えた適用例である。特に従来例として示した第12図の形状モデルによる写像モデルの比較において、本発明によれば、形状がより適合した写像モデル(図中左)が設定できる。したがって、この写像モデルを使用すると、形状モデルのメッシュ分割がより歪みの小さい状態で行うことができる。

第10図は他の形状モデルを使用した場合を示す。この形状モデルでは、周辺に凹凸、内部に穴が設けられているが、従来できなかったメッシュ分割を歪みの少ない状態で行うことができる。

〔実施例〕

次元写像においては、2次元メッシュを生成し(下図)、3次元写像においては3次元メッシュを生成する写像演算部13から構成されている。

次に、有限要素発生装置の構成について説明する。

まず、形状モデルとして、従来の直方体の写像モデルでは歪みの小さな格子点によりメッシュ分割することが到底不可能であった2つの長い突起部分を有する形状モデル(第2図a)により本発明の適用を説明する。

(1) 形状モデル生成部9aは、有限要素法による解析の対象となる3次元の形状モデルが生成される。

(2) この形状モデルに対し形状がより適合し格子を有する写像モデルを設定する写像モデル生成部は、以下の複数の手段からなる。

① 形状モデルが有する一定以上の曲率の円筒面や自由曲面を分割する分割手段(第1図中9b1)。

第2図(a)の形状モデルには一定以上の曲率

この発明の一実施例を第1図～第8図において説明する。

第1図は、この発明の全体構成を示すコンピュータシステムのブロック図である。1はCRTディスプレイ部2への表示、及びスタイラスペン3の入力制御の他、表示管理などをおこなう表示制御部、4はキー入力部、5はファイル装置、6は出力部、7は主記憶部、8は中央処理装置(CPU)である。9は有限要素発生装置であって、形状モデル生成部9a、写像モデル生成部9b、境界面メッシュ生成部9c、内部メッシュ生成部9dより構成される。10～13は具体的な演算をおこなう各機能部を示したもので、線分の長さや円の角度などの幾何計算を行う図形処理演算部10、3次元の図形を表現するためのデータの構成、例えば立体→面→線→点→座標値、を定める形状定義部11、形状モデルに位相特性(点及び線の結合状態)及び幾何特性(線分の長さ及び構成線分間の長さの比)が適合した写像モデルを構成する形状構成部12、曲線座標変換法を用いて、2

の曲面が存在しないのでこの分割はおこなわれない。しかし他の実施例において一定以上の曲率の円筒面や自由曲面を有する場合には以下のように分割をおこなう。

まず円筒面の分割の場合、第7図に示すように円筒の中心軸を中心に $10^\circ$ くらいの角度で円筒面を中心軸と平行に分割する。このようにして等分割された各面はそれぞれ1つの面としてコンピュータに登録される。

次に自由曲面の分割については、この実施例で取り扱う自由曲面は四つの辺で形成されるところのcoons曲面であり、u方向かv方向かにいずれかの変化の大きい方向に分割する(第8図)。この曲面上の点は $P(u, v)$  ( $0 \leq u \leq 1$ ,  $0 \leq v \leq 1$ )で表わされるもので、分割する方向がu方向であれば、u方向に関して曲率の大きさを求め、曲率が大きいところがあれば $u = u_n$  ( $n = 1, 2, \dots, u_n$ は定数)なる線において自由曲面を分割する。

② 分割をおこなった分割線及び前記稜線によ

って形状モデル表面を複数の多角面に区分する区分手段。(図中9b1)

第2図(a)において区分された各面(以下各区分面という)には番号が付してある。このとき区分面1および7は平面ではなく緩やかな曲面となっている。この実施例において分割はおこなわれていないので分割線は図には示されていない。

③ 区分された各面を写像空間の座標面の1つと対応させる手段。(図中9b2)

座標面には $X-Y$ 面、 $Y-Z$ 面、 $X-Z$ 面の3種類が存在する。この手段における操作は、各区分面がどの方向を向いているかを全て決める操作である。対応の基準としては例えば、区分面の各座標面への投影面積と区分面自体の面積の面積比が1番大きな座標面を対応させることが考えられる。同図(b)には各区分面に対応する座標面の記号を書き込んである。

④ 区分された各面を構成する各線分を前記対応する座標面に属する座標軸の1つに対応させる手段。(図中9b2)

(第3図a)。

⑤ 基準面1に隣接する面2に対応する座標面( $Y-Z$ 面)、座標軸( $Y$ 軸、 $Z$ 軸)、及び前記基準矩形面1'と共有する線分( $Z'$ )の長さ及び該面2を構成する線分の長さを基にして、該面2に対応する矩形面2'を構成し、前記基準矩形面1'に隣接させる手段。

すでに基準面1に対応する基準矩形面1'は構成されているので、次に隣接する面に移る。隣接する面2に対応する座標面( $Y-Z$ 面)、座標軸( $Y$ 軸、 $Z$ 軸)、はすでに決まっている。また前記基準矩形面1'と共有する線分 $Z'$ の長さもすでに決っている。そこでこの面2を構成する未だ決っていない長さの線分 $Y$ を基にして、この長さの決っていない線分に対応する線分 $Y'$ の長さを決める。このときの基準は、例えば共有する線分 $Z$ と対応する線分の長さの決っていない線分 $Y$ との長さの比を基にして、 $Z'$ より $Y$ に対応する線分 $Y'$ の長さを決める。これにより面2に対応する矩形面2'を構成する(第3図b)。矩形面2'

⑥⑦により後で構築される写像モデルを構成する矩形面のうち面の向きと辺(線分)の向きが決められることになる。例えば区分面1に対しては対応する座標軸は $X$ 軸と $Z$ 軸である(第4図c)。

⑤ 前記区分された面のうち指定された基準面に対応する座標面、座標軸、及び該基準面を構成する各線分の長さを基にして該基準面に対応する基準矩形面を写像空間に構成する手段。(図中9b3)

複数の区分面(図中1~9)のうち区分面1を基準面に指定する。この基準面についてもすでに①~④において、座標面、座標軸が決まっている。次にこの基準面1を構成する各線分の長さを基にして、対応する基準矩形面1'の線分 $X'$ 、 $Z'$ を決める。このときの基準として、基準面1の線分の長さの平均値を採用する方法が考えられる。すなわち対となる2辺 $XX$ 又は $ZZ$ の平均値を、これらに対応する基準矩形面1'の線分 $X'$ 又は $Z'$ の長さとする。このようにして基準面1に対応する基準矩形面1'が写像空間に構成される

は前記基準矩形面1'に隣接される(第3図c)。

⑦ 前記構成された矩形面をあらためて基準矩形面として前記構成及び隣接の操作を繰り返す手段。以上⑤⑥⑦の手段は第3図中の9b3である。

ここにいう構成とは、区分面に対応する矩形面を構成する意味である。また隣接とは、構成した矩形面をその操作における基準矩形に隣接させる意味である。この操作(図中9b3)の繰り返しは立体を構成する過程であり、最終的に写像モデルが構築される(第6図a)。

⑧ 前記繰り返しによって最終的に構築された写像モデルの稜線を形成する各線分が、格子の単位立方体の一辺の長さの整数倍になるように修正する手段。(図中9b4)

この手段によって写像モデルに格子を形成する準備がなされる。有限要素法による解析を可能とするメッシュ分割においては形状モデルの稜線及び角部に格子点がくるように分割される。

⑨ 修正後に前記単位立方体の長さを基に写像モデルの表面及び内部に格子を形成する手段。

(図中9 b 5)

写像モデルは、表面がすべて矩形面によって構成されており、全体がいわば直方体によって構成されることになる。したがって表面及び内部に形成された格子は、写像モデルを立方体に分割した状態となる(第4図b)。

(3) 写像モデルに基づいて形状モデルに格子を生成する境界面および内部メッシュ生成部9 c, 9 dは、次の手段により構成されている。

① 写像モデルの境界線(稜線)上の格子点に対して形状モデルの境界線(稜線)上に格子点を発生する発生手段(図中9 c 1, 9 d 1)。

この手段における操作は、従来の直方体の写像モデルから形状モデルへ格子点を移す操作と同一である。このとき、第5図(a)に示すように、形状モデルを構成する各区分面を順に取り出し、対応する矩形面1'の格子点の数を基に区分面1の境界線(稜線)上に格子点を形成する(第5図(b))。

② 前記発生した格子点を基にして曲線座標変

また、今まで直方体の写像モデルを用いる方法では扱えなかった複雑な形状でも有限要素法を使用する際のメッシュ分割の対象として扱えるようになった。

また、面と面(区分面と矩形面)を対応させていることにより、境界面のメッシュ分割においても曲線座標変換法を用いることができるようになり、したがって従来は、直方体の6つの面と形状モデルの各面との対応付けが難しく境界面のメッシュデータは操作員が1つ1つ入力していたことに比べ、この発明では曲線座標変換法を使った計算により境界面のメッシュを形成することができるようになった。これにより操作員による入力作業の省力化を実現できる。

形状モデルの各区分面に対応する写像空間における面の方向(どの座標面に対応するかということ)、及び形状モデルの各線分に対応する写像空間における線分の方向(どの座標軸に対応するかということ)等を設定するだけで、形状モデルを有限要素に分解できるので、入力操作の省力化が

換法により形状モデルの表面(第5図c)及び内部に格子点を導出する導出手段。(図中9 c 2, 9 d 2)

この曲線座標変換法は従来から使用されている方法である(第11図の2次元モデル参照)。

このようにして形状モデルに歪みの少ない格子を形成することができる(第6図)。このように格子によってメッシュ分割された形状モデルを使って有限要素法による解析をおこなう。

次に、この実施例の効果について説明する。前記(2)①に示すように、円筒面及び自由曲面を適当な数に分割し、同②③のように複数方向の面に対応可能とすることにより、形状モデルと写像モデルの形状の近似度を高めることができる。また、形状モデルと写像モデルの位相特性が等しくなることにより、モデルの線と線、点と点が付付けられるから、従来のように写像モデルに直方体しか設定できなかったことに比べ、直方体の8つの頂点や12の稜線に対応する点、線、及び線群を指定する必要がなくなった。

図れる。

面と線の対応により写像モデルが構築できるような形状モデルならば、メッシュ分割が可能となり、写像モデルに直方体しか設定できなかった場合と比べて、扱える形状モデルを多用化できる。  
(発明の効果)

上述のとおり、本発明によれば、有限要素法による解析の対象となる3次元の形状モデルに対し形状がより近似した写像モデルを、設定できるので、形状モデルをメッシュ分割した際のメッシュ形状を均一なものとしことができ、メッシュ形状に大きな歪みを生ずることを防止できる。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図はこの発明の一実施例を示すコンピュータシステムのブロック図、第2図は形状モデルを複数の面に区分する操作手順を示す図、第3図は形状モデルの区分面を写像モデルの矩形面に対応させる操作手順を示す図、第4図は構築された写像モデルに格子を形成する操作手順を示す図、第5図は格子が形成された写像モデルを基にして形

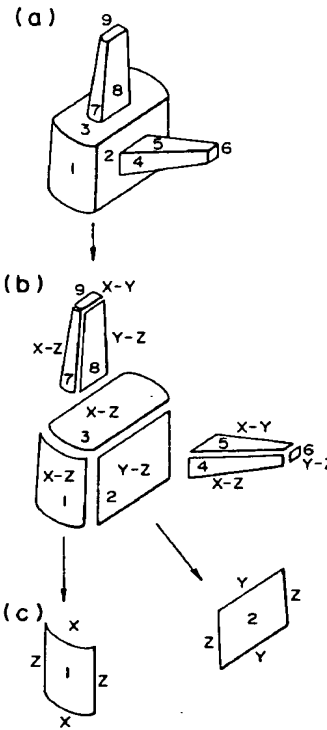


状モデルの各区分面に格子を形成する操作手順を示す図、第6図は形状モデルの全体に格子が形成された様子を斜視図、第7図は形状モデルが円筒面を有する場合の円筒面の分割をおこなう操作手順を説明する図、第8図は同様に自由曲面を有する場合の自由曲面の分割操作手順を示す図、第9図及び第10図は本発明の作用を示すため3次元モデルを2次元モデルに置き換えて説明する概念図、第11図(a)～(e)は曲線座標変換法を用いたメッシュ分割の操作手順を2次元モデルを使って説明する図、第12図は従来技術の問題点を示す図である。

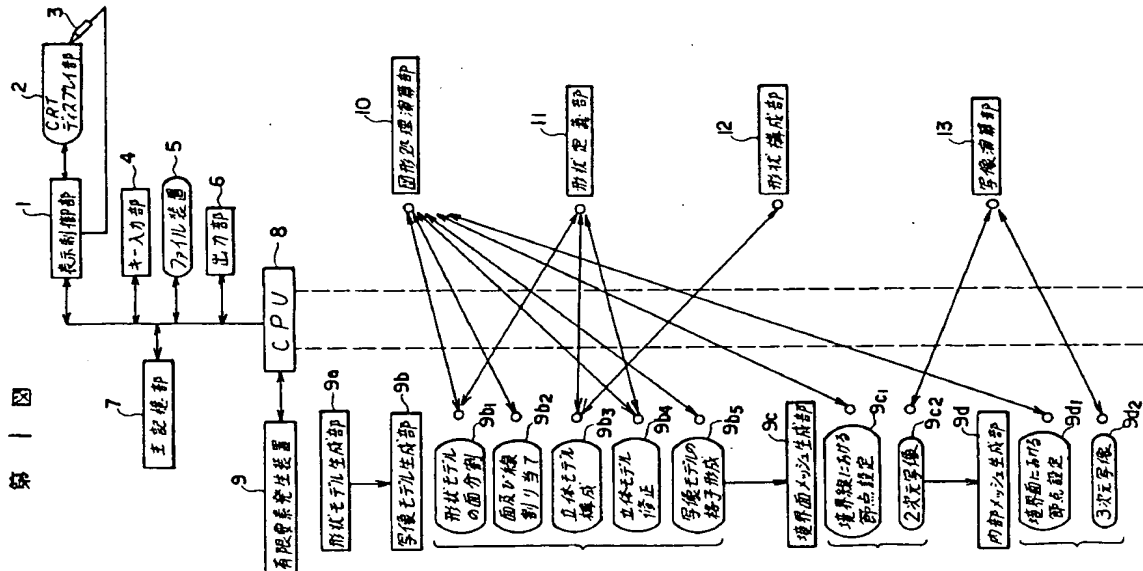
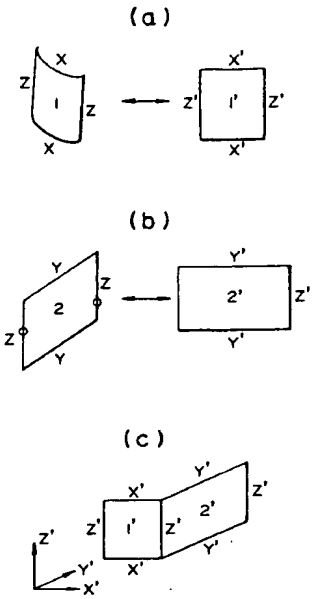
9 a…形状モデル生成部、9 b…写像モデル生成部、9 c、9 d…メッシュ生成部。

代理人 鶴 沼 辰 之

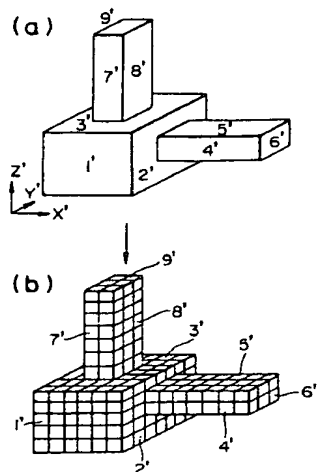
第 2 図



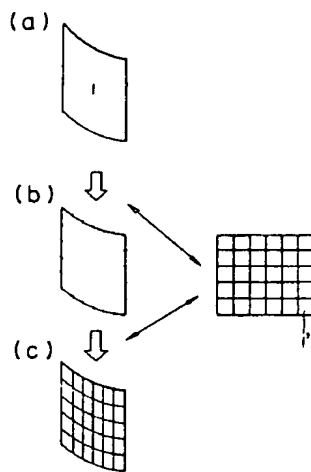
第 3 図



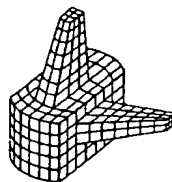
第 4 図



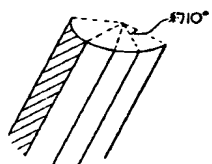
第 5 図



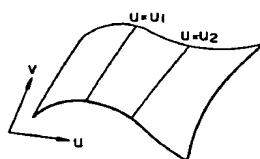
第 6 図



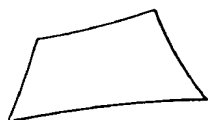
第 7 図



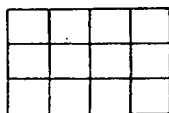
第 8 図



第 11 図 (a)



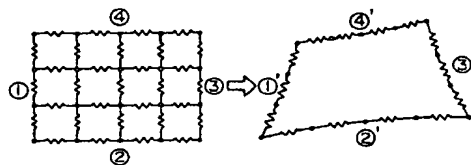
第 11 図 (b)



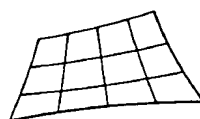
第 11 図 (c)



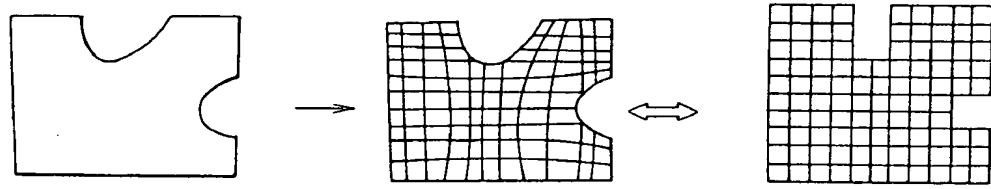
第 11 図 (d)



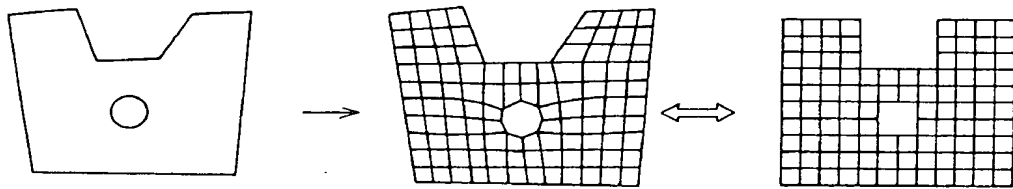
第 11 図 (e)



第 9 図



第 10 図



第 12 図

